

PROJECTE: DISSENY I DESENVOLUPAMENT D'UN GENERADOR TERMOELÈCTRIC PER APROFITAMENT DE LA CALOR DELS GASOS D'ESCAPAMENT D'UN MOTOR DE VEHICLE.

INDEX

1.	Introducció	1
2.	Resum.....	2
3.	Antecedents	3
4.	Objecte	5
5.	Introducció als termopars	6
5.1.	Concepte de termogeneració	6
5.2.	Definició de termopar	8
5.3.	Tipus i classificació dels termopars	8
5.4.	Característiques principals	9
5.5.	Camps d'aplicació o utilització	11
6.	Condicions de treball del generador	13
6.1.	Principi de funcionament	13
6.2.	Procés de generació d'electricitat	13
6.3.	Temperatures al vehicle	13
6.4.	Situació al vehicle	14
6.5.	Estimació de generació	14
6.6.	Tipus i nombre de termopars necessaris	15
7.	Elecció dels termopars.	16
7.1.	Termopars elegits.....	16
7.2.	Motius de l'elecció	16
7.3.	Distribució	16
8.	Materials	18
8.1.	Materials elegits. Característiques	18
9.	Disseny del generador (esboç del disseny del generador).....	19
10.	Esquema de situació al vehicle.....	20
11.	Pressupost orientatiu	21
12.	Diagrama de Gantt	22
13.	Bibliografia	23
14.	Índex d'il·lustracions	24

1. Introducció

En aquest projecte es desenvoluparà el disseny un termogenerador destinat a automovils, que té com a objectiu principal substituir l'alternador de que disposen la gran majoria de cotxes actuals.

La idea parteix del fet de que actualment s'està donant un moviment de sensibilització ambiental a la societat que fa que es posi especial atenció als elements presents en la nostra vida cotidiana que poden afectar o perjudicar els nostres ecosistemes o, més en general, al planeta terra. Un d'aquests elements, present a diari, és l'automòvil, el qual s'ha convertit en un dels màxims exponents dels nous avenços en materia de tecnologies mediambientals. És per això que l'objectiu és el de dissenyar un element que contribueixi a reduir l'impacte dels cotxes sobre el medi ambient.

En una màquina tèrmica és sabut que la inmensa majoria del poder energètic dels combustibles utilitzats es perd en forma de calor, i els cotxes no en són cap excepció. A través dels tubs d'escapament dels vehicle propulsats amb combustibles fòssils es perden grans quantitats de calor, que és el que es vol aprofitar en aquest projecte per tal de poder generar una electricitat neta i barata per al vehicle.

La intenció d'aquest projecte és la de poder aplicar al major nombre possible aquest termogenerador, ja siguin cotxes, camions, autobusos, etc.



Imatge - 1 - Google Images

2. Resum

Primerament s'exposaran els antecedents del projecte, juntament amb l'explicació del fenomen de la termogeneració en que es basa aquest disseny. Després de l'explicació dels objectius del projecte es procedirà a una explicació teòrica sobre els termopars i la termogeneració, sobre els tipus de termopars i les característiques de cada un d'ells i camp d'aplicació.

Després de les explicacions teòriques es procedirà a concretar el funcionament, les condicions de funcionament i les característiques del termogenerador.

A continuació es justificarà i explicarà l'elecció de termopars realitzada i els materials utilitzats en la construcció del termogenerador.

Els tres darrers apartats d'aquest preprojecte correspondran a uns esboços inicials del termogenerador, un pressupost orientatiu i un diagrama de Grantt del projecte.

3. Antecedents

Existeixen precendents en quan a termogeneració, com per exemple la construcció de termopiles que es basen en l'efecte Seebeck de la termogeneració, aquests elements foren molt populars a l'antiga URSS, ón s'utilitzaven per alimentar radios i la mesura de les corrents elèctriques generades en els capilars dels termopars per tal de poder quantificar temperatures.

En quan al disseny d'un termogenerador aplicat a un vehicle existeixen tres projectes anteriors, els quals han arribat a ser prototipats i provats.

- El primer d'ells és el que ha provat BMW en un Serie 5. Aquest prototip es va montar en un vehicle convencional al 2008 i aconseguia generar 200 W de



Imatge - 2 - Situació del termogenerador a sota del vehicle en el projecte BMW - Google Images

potència, tot i que els seus responsables varen assegurar que en un futur es podrien arribar als 1000 W. El sistema s'aclopava a un sector del tub d'escapament situat entre els col·lectors d'escapament i el convertidor catalític. El podem veure a les següents imatges:



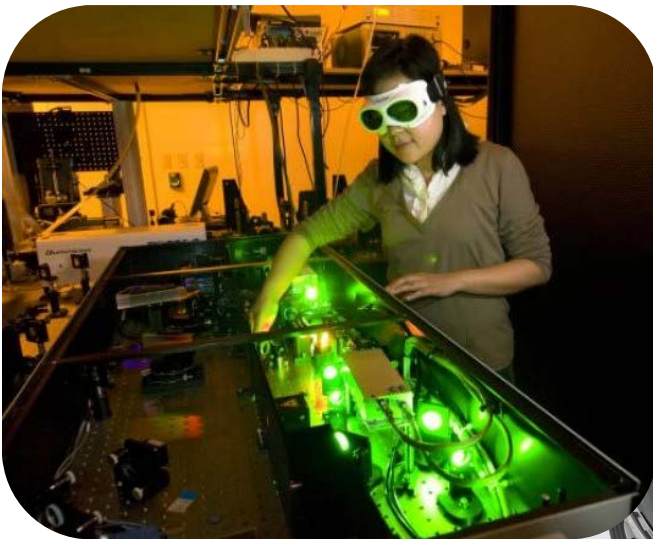
Imatge - 3 - Projecte BMW Serie 5 amb il·lustració de posicionament del termogenerador - Google Images

- El segon cas mostrat fou el de Volkswagen, que montà un sistema molt semblant en un Golf a finals del 2008, obtenint uns resultats molt semblants als de BMW.



Imatge - 4 - Projecte de termogenerador de VW, amb dibuix i esquema de situació al vehicle - Google Images

- El tercer cas, i més recent, és el de General Motors, que està desenvolupant termogeneradors que incorporen nous materials estudiats per la pròpia marca que milloren l'eficiència d'aquests sistemes. És un projecte molt fort e innovador que ja ha rebut quantioses subvencions per part del govern de Barack Obama.



Imatge - 5 - Investigació de nous termopars a General Motors - Google Images

Imatge - 6 - Esquema de termogenerador aplicat a un SUV de General Motors - Google Images



Més recentment s'han posat en marxa molts projectes per a desenvolupar nous generadors termoelectrics per part d'altres constructors o marques independents, com per exemple BASF, una important multinacional química, una de les empreses líders en la investigació de nous materials per a la construcció de mòduls termoelectrics. BASF mostrarà a l'últim congrés sobre termoelectricitat aplicada als vehicles "Thermoelectrics Goes Automotive" els seus avanços en tecnologies termoelectriques realitzats als últims cinc anys, durant els quals s'han centrat en la investigació sobre mòduls termoelectrics fabricats amb Tel·luri de Plom.

4. Objecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és el de dissenyar un termogenerador amb la potència suficient per tal de poder substituir l'alternador d'un vehicle. Amb aquesta idea s'aconsegueixen varis avantatges addicionals:

- Reduir el consum de combustible del vehicle entre un 8% i un 10%.
- Eliminar parts mòvils del vehicle, com la corretja de transmissió de força del motor a l'alternador o el propi alternador, que es poden rompre per desgast, fatiga, tensions, brutícia, agents externs, etc.
- Ajudar a reduir les emissions de partícules i gasos contaminants gràcies a la reducció del consum de combustible.
- Intentar realitzar un disseny amb un cost que sigui com a mínim equivalent a un alternador convencional actual, i com a màxim que es pugui amortitzar després d'uns 30.000 kilòmetres.
- Rebaixar els costos de manteniment i revisió del vehicle creant un element lliure d'aquestes despeses i de llarga duració.

De totes formes, per motius de seguretat, es podrà seguir montant un alternador, tot i que més petit, que pugui ser connectat en cas de necessitar pics de potència elèctrica instantanis que el termogenerador no pugui proporcionar. A més, serviria com a generador auxiliar en cas d'avaría tant en el propi termogenerador com en la instal·lació necessària per al funcionament d'aquest.

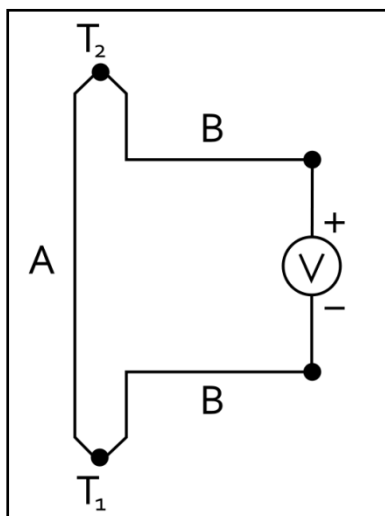
En la següent taula es presenta una aproximació de l'estalvi de combustible que es podria aconseguir només als 30.000 primers kilòmetres per tal d'intentar amortitzar el vehicle.

Consum mitjà (L/100 Km)	Estalvi de combustible (%)	Nou consum mitjà (L/100 Km)	Preu del combustible (€/L)*	Estalvi econòmic (€/100 Km)	Estalvi passats 30000 Km (€)
5,00	8,00	4,60	1,37	0,55	164,40
	10,00	4,50		0,69	205,50
7,00	8,00	6,44		0,77	230,16
	10,00	6,30		0,96	287,70
9,00	8,00	8,28		0,99	295,92
	10,00	8,10		1,23	369,90
11,00	8,00	10,12		1,21	361,68
	10,00	9,90		1,51	452,10

*Preu basat en informació a dia 05/06/2011.

5. Introducció als termopars

5.1. Concepte de termogeneració

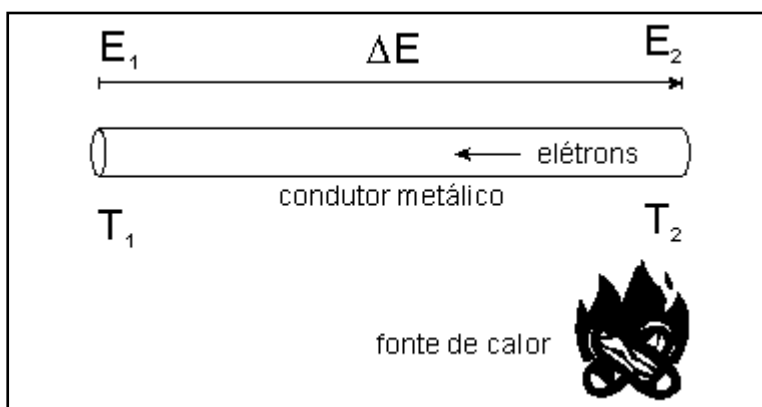


Imatge - 7 - Circuit termogenerador simple - Wikimedia Commons

La termogeneració consisteix en l'obtenció de corrent elèctric resultant d'una diferència de temperatura entre dos materials, generalment metalls o semiconductors. Aquest fet s'anomena efecte Seebeck en honor al seu descobridor, el físic alemany Thomas Seebeck. Aquest físic es va adonar que una agulla metàl·lica era desviada quan se la situava entre dos conductors de materials diferents soldats pels seus extrems i sotmesos a una diferència de temperatura. Per tant, es va interpretar que existia un camp magnètic resultant de la circulació d'un corrent elèctric, com més tard es va corroborar.

La imatge 5.1.1 mostra un circuit termogenerador simplificat, el qual es troba sotmès a una diferència de temperatures T_1 - T_2 , als punts de soldadura o unió entre els materials A i B. Degut a aquesta diferència de temperatures es presenta una tensió contínua entre els dos materials, que és la que s'aprofita.

L'efecte Seebeck es pot explicar a través de la teoria d'electrons lliures en metalls (imatge 5.1.2). Segons aquesta aproximació, els electrons en un metall es mouen a l'atzar, sense sofrir l'efecte de cap força neta, ja que estan rodejats d'altres ions de forma simètrica. Tot i això, a prop de la superfície del material la situació és diferent, ja que es romp la simetria. Si s'uneixen dos materials, la diferència de densitat d'electrons entre una part i l'altre provoca un desplaçament d'electrons, la qual cosa causa un corrent continu entre un material i l'altre. Si aquest efecte se l'hi afegeix el factor temperatura passa que, com que les dues parts es troben a diferent temperatura, els electrons de la part més calenta vibren més i el camp elèctric generat en aquesta part és major que el generat en l'altre part. D'aquesta manera, la diferència de temperatures s'evidencia com una diferència de potencial en el circuit.



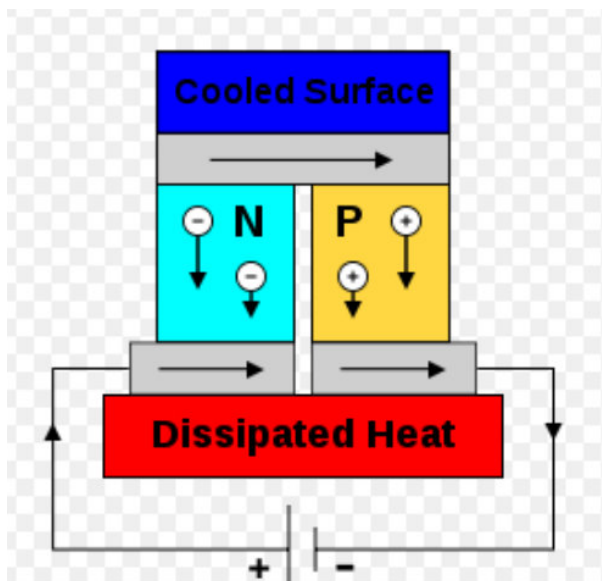
Imatge - 8 - Moviment dels electrons en un conductor metàl·lic sotmès a una diferència de temperatures - Wikimedia Commons

Aquesta combinació de dos materials units pels seus extrems s'anomena termopar, del qual existeixen tants tipus com materials capaços de produir efecte termoelèctric.

La principal aplicació de la termoelectricitat és la mesura de temperatures mitjançant la quantificació

del corrent produït en un termopar gràcies a un gradient de temperatura, que és el que es medeix.

Una altra aplicació, tot i que menys habitual, és la de produir fred, com a conseqüència de fer



Imatge - 9 - Esquema de termopar utilitzat com a productor de fred - Wikimedia Commons

circular un corrent elèctric a través de termopars en un material sotmès a un gradient de temperatura.

En aquesta imatge es mostra com es connecta un termopar per actuar com a generador de fred.

La tercera gran aplicació és la generació d'electricitat aprofitant la diferència de temperatura entre dos punts. Aquest és el fonament de la termogeneració, i les unitats que possibiliten aquest fet són els termopars, amb els quals es construeixen termogeneradors. Un termogenerador és el resultat de connectar termopars entre sí, ja sigui en sèrie per augmentar el

voltatge, o bé en paral·lel per poder augmentar la intensitat. Degut a que generen corrent continu, i que el corrent continu té polaritat, el pol negatiu del termogenerador es situa a l'extrem més fred, i el pol positiu a l'extrem més calent.

Tot i que el rendiment d'aquests sistemes és encara escàs als últims anys s'està invertint molt en el desenvolupament de nous materials que millorin el coeficient de generació. Aquest coeficient és l'anomenat coeficient de Seebeck, i relaciona el gradient de temperatura sota el qual es troba el termopar amb la corrent que és capaç de generar. Cada material té el seu propi coeficient de Seebeck, els quals es poden combinar per obtenir el coeficient del conjunt. El coeficient de Seebeck es medeix en V/K, tot i que el més habitual és que es medeixi en $\mu\text{V/K}$ o $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, ja que els coeficients solen ser molt baixos.

Coeficient de Seebeck:

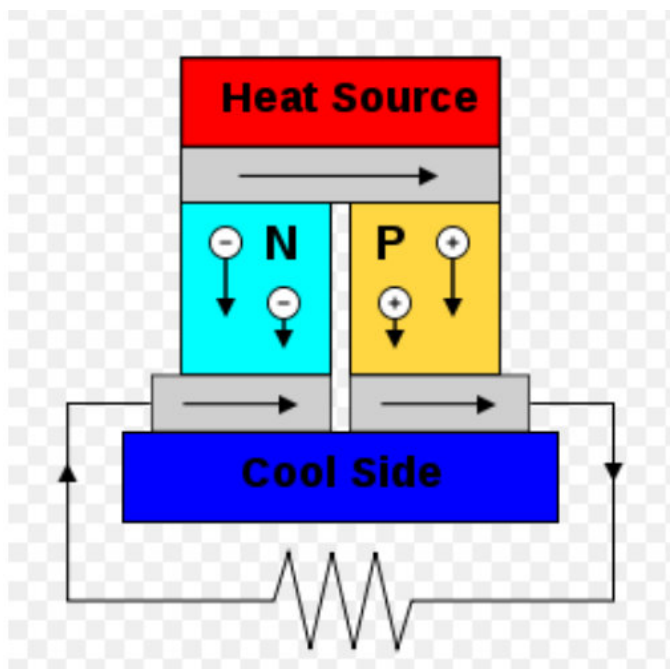
$$S_{ab} = \frac{dV}{dT}$$

on S_{ab} és el coeficient de Seebeck d'un parell de materials, tot i que també es pot expressar el d'un únic material.

Combinació dels coeficients de dos materials per obtenir el coeficient de la parella:

$$S_{ab} = S_a - S_b$$

Per tal de representar el coeficient de Seebeck es poden utilitzar tant la S majúscula com la lletra grega α (alpha).



Imatge - 10 - Esquema de termopar utilitzat com a termogenerador - Wikimedia Commons

En la següent imatge es troba esquematitzat el muntatge d'un termopar per tal de generar electricitat.

5.2. Definició de termopar

Un termopar és la unió de dos materials diferents que interaccionen entre ells produint corrent continu en funció de la diferència de temperatura que són sotmesos (un respecte de l'altre).

Els termopars són habitualment construïts amb dos metalls, però més recentment s'han realitzat investigacions que han derivat en

l'utilització de semiconductors per a la fabricació de termopars. Això és degut a que els semiconductors es poden modificar (dopar) amb una quantitat en excés d'electrons o forats, amb la qual cosa s'aconsegueixen grans transferències d'electrons que contribueixen a augmentar el voltatge, o corrent continu, produït en cada una de les unitats.














Com ja s'ha explicat anteriorment, la principal característica que defineix un termopar, a part de la seva composició, és el coeficient de generació o coeficient de Seebeck, ja que ens defineix com es comporta el termopar en funció del diferencial de temperatura al qual és sotmès i quant de corrent és capaç de generar. Entre d'altres característiques importants ens podem trobar la temperatura màxima que poden soportar, la seva resistència enfront dels agents externs, el seu desgast amb el temps, la disponibilitat i el preu.

En els termopars formats per metalls (els més habituals i, en principi, els que s'utilitzaran en aquest projecte) els coeficients de generació són de l'ordre de desenes de microvolts per grau de temperatura, arribant a un màxim de $70 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ en el millor dels casos. Com ja s'ha comentat, la investigació en termopars ha derivat en la creació de termopars fets a partir de moderns semiconductors, la geometria i propietats materials dels quals han estat fabricats específicament per a la generació d'electricitat, i que aconsegueixen coeficients de Seebeck de centenars de microvolts per grau de temperatura.

5.3. Tipus i classificació dels termopars

Els termopars es classifiquen segons els materials que els formen. Existeixen multitud de classes de termopars, però en aquesta llista citaré els més habituals, ja que són els que s'intentaràn aplicar al disseny del termogenerador, per tal d'intentar reduir el seu cost de producció.

La següent taula il·lustra els tipus de termopars més habituals, dels quals s'especificaran les característiques principals més endavant.

Código ANSI	Combinación de la aleación		Código de color	
	+	-	Termopar	Extensión
E	Cromel níquel - cromo Ni-Cr	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
J	hierro Fe	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
T	cobre Cu	Constantan cobre - níquel Cu-Ni		
K	Cromel níquel - cromo Ni-Cr	Alumel níquel - aluminio Ni-Al		
N	Nicrosil níquel - cromo - silicio Ni-Cr-Si	Nisil níquel - silicio - magnesio Ni-Si-Mg		
R	platino - 13% rodio Pt-13% Rh	platino Pt	No establecido	
S	platino - 10% rodio Pt-10% Rh	platino Pt	No establecido	
B	platino - 30% rodio Pt-30% Rh	platino - 6% rodio Pt-6% Rh	No establecido	

[Imatge - 11 - Classificació dels termopars més habituals - Wikimedia Commons](#)

5.4. Característiques principals

Hi ha dues característiques principals que defineixen els tipus de termopars: els metalls pels quals estàn formats i el seu coeficient de generació, la seva capacitat de generació.

- **Tipus K:** té una gran varietat d'aplicacions i un cost relativament baix. Pot funcionar entre $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $1372\text{ }^{\circ}\text{C}$. El seu coeficient de generació, o coeficient de Seebeck, és de $41\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Té bona resistència a la oxidació. És el termopar més utilitzat, sobretot en medició de temperatures.
- **Tipus E:** Tenen una alta sensibilitat, la qual cosa els fa ideals per a mesurar temperatures molt baixes. Té una sensibilitat de $68\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

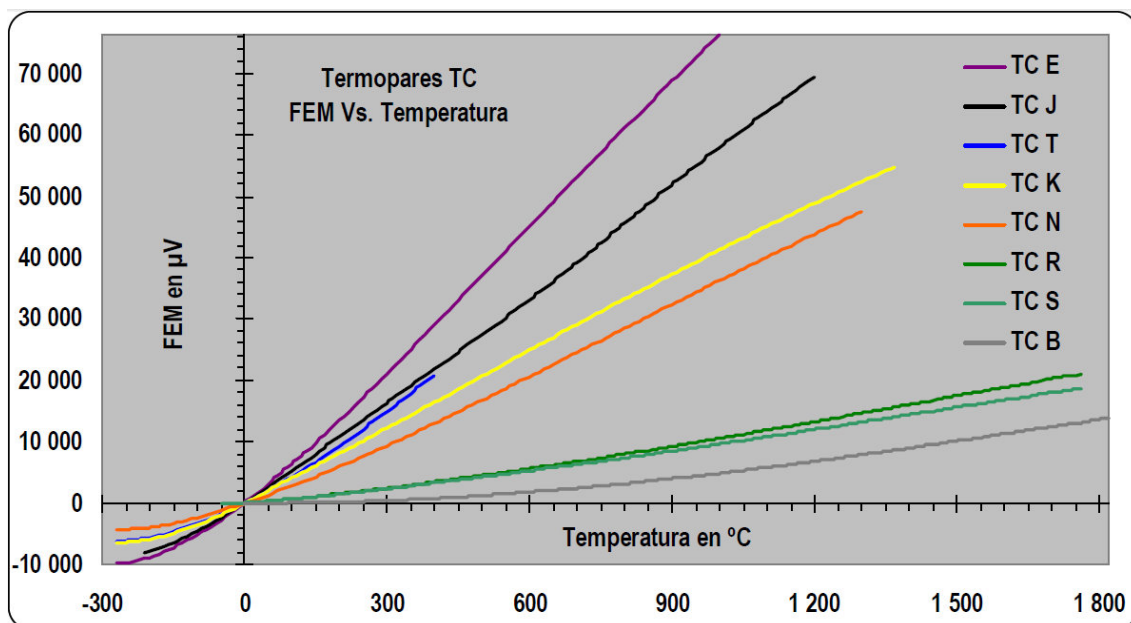
- **Tipus J:** No pot utilitzar-se a temperatures superiors als 760 °C i sempre per sobre dels -40 °C. Es veu bastant afectat per la corrosió i el seu coeficient de Seebeck és d'uns 52 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.
- **Tipus T:** Es pot utilitzar entre -200 °C i 260 °C. Aquests termopars tenen un coeficient aproximat de 43 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.
- **Tipus N:** es tracta d'un tipus de termopar molt estable i resistent a la oxidació a altes temperatures. Per ser estable no necessita del platí que es posa als tipus B, R i S, explicats a continuació. El seu coeficient de Seebeck volta els 36 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Els termopars B, R i S tenen un baix coeficient de generació (voltant dels 10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$) però, en canvi, poden treballar a temperatures molt altes, la qual cosa fa que siguin molt utilitzats per a mesurar temperatures altes.

- **Tipus B:** medició de temperatures superiors als 1800 °C.
- **Tipus R:** Tenen un cost elevat i poden actuar fins a 1300 °C.
- **Tipus S:** És molt estable, però car i efectiu fins als 1300 °C, per la qual cosa s'utilitza per a calibrar universalment el punt de fusió de l'or (1064.43 °C)

Existeixen tipus més moderns de termopars, com per exemple termopars fabricats a partir de semiconductors, explicats en aquest mateix informe.

La següent gràfica indica la capacitat de generació dels termopars mostrant la Força ElectroMotriu que generen quan es sotmeten a una certa diferència de temperatura.



Imatge - 12 - Evolució de la generació d'electricitat per diferencial de temperatura als termopars més habituals - Wikimedia Commons

5.5. Camps d'aplicació o utilització

Tradicionalment els termopars s'han destinat a la medició de temperatures, principalment degut a la seva baixa capacitat generativa d'electricitat en funció del gradient de temperatura, que fan que es necessiti un alt diferencial de temperatura per poder aprofitar-los com a generador.



En el camp de la medició de temperatura s'utilitzen termopars per construir sondes mesuradores.

Imatge - 13 - Sonda termopar i mesurador utilitzats per a mesura de temperatures - Google Images

Com ja s'ha introduït

anteriorment, degut a que els termopars generen un voltatge en funció del diferencial de temperatura al qual es troben sotmesos es pot convertir un cert voltatge en una temperatura equivalent, utilitzant el coeficient de generació del termopar. Amb un termopar no es mesuren temperatures absolutes, sino que es mesuren diferències de temperatura, aquest és un factor molt important a tenir en compte per la seva correcta utilització, ja que la conversió del voltatge generat en una temperatura ens dona la diferència de temperatura entre el punt fred i el punt calent.

La termogeneració és una altra gran aplicació dels termopars. És una aplicació coneguda desde fa molts anys, relativament utilitzada i en vies de grans desenvolupaments. Aprofitant que els termopars generen electricitat com a resultat d'un diferencial de temperatura, es combinen termopars per tal de crear un sistema que, aprofitant diferències de temperatura, aconseguixi generar quantitats i tensions de corrent aprofitables energèticament per a certs usos.

Un dels principals usos que s'ha donat a la termogeneració als últims temps és la d'alimentar elèctricament als satèl.lits enviats a l'espai, utilitzant panells solars que capten radiació i, per tant temperatura. Mencionada anteriorment, una aplicació més desconeguda, però més propera al públic en general, fou la utilització a l'antiga URSS de termogeneradors per tal de poder alimentar radios a les cases, ha que es posava el punt calent a l'interior de la xemeneia de la casa i el punt fred a l'exterior. Així s'aconseguia un diferencial de temperatura suficient per tal de poder alimentar petits aparells.

En aquest projecte es pretén aprofitar precisament aquesta aplicació dels termopars.

Com ja s'ha mencionat anteriorment una altra gran aplicació dels termopars és la producció de fred.

Aquest fenomen resulta d'utilitzar els termopars "a l'inrevés". En una utilització habitual dels termopars (per exemple generació d'electricitat) es connecten els termopars de tal forma que,

proporcionant-li un diferencial de temperatura al sistema, s'obté un voltatge. En la producció de fred es proporciona un corrent elèctric al sistema de termopars perquè aquests extreguin calor per un punt de la soldadura i l'expulsin per l'altre extrem. Es pot utilitzar aquest sistema tant per produir fred com calor, encara que la més habitual és la de produir fred, ja que es poden aconseguir temperatures baixes molt estables i controlades, ideals per a segons quin tipus de laboratoris en que es poden sol·licitar aquestes especificacions en matèria de refrigeració. També es poden construir neveres portàtils que funcionin amb una petita aportació d'electricitat procedents de bateries:



Imatge - 14 - Nevereta amb termopars utilitzats per a produir fred - Google Images

6. Condicions de treball del generador

6.1. Principi de funcionament

El termogenerador aprofita la diferència de temperatura present entre el circuit de sortida de gasos d'escapament del vehicle (punt calent) i un altre punt del vehicle a menor temperatura (punt fred) per tal de poder generar electricitat amb les cèl·lules termoelèctriques (termopars) que el formen.

Els termopars destinats a la generació d'electricitat tenen una estructura definida, per tal de poder aprofitar de la millor forma possible les seves característiques, sobretot els fabricats a partir de semiconductors, en l'estructura constructiva dels quals s'ha avançat molt als últims anys. Aquesta estructura consisteix en dues pastilles de semiconductors en forma de lingot, que es connecten amb pletines metàl·liques per tal de generar el corrent elèctric entre els dos semiconductors.

6.2. Procés de generació d'electricitat

Degut a les grans quantitats de calor que emet un motor de combustió interna a través dels gasos d'escapament, el tub d'escapament s'encalenteix molt, arribant a una temperatura d'uns 1000 °C en alguns punts. És gràcies a la diferència de temperatura present entre aquests punts calents i altres de freds quan els termopars que formen el termogenerador produeixen electricitat. Gràcies a que es troben connectats entre ells tots i cada un dels termopars la corrent és recollida mitjançant una instal·lació formada per cables (generalment de coure) per tal de poder alimentar, i carregar, la bateria del vehicle. A partir d'aquest punt no es realitza modificació alguna en el circuit elèctric del cotxe.

6.3. Temperatures al vehicle

L'objectiu per a un bon funcionament del termogenerador és la de crear el major diferencial de temperatura possible entre el punt fred del termogenerador i el punt calent. És per aquesta raó que s'ha agafat el tub d'escapament com a centre del termogenerador, on es col·locarà el punt calent del sistema. Per al punt fred hi ha diverses opcions a considerar, però la més viable seria ubicar un bescanvior de calor integrat en el sistema de refrigeració del vehicle que ajudés a refredar el punt fred del termogenerador.

Al tub d'escapament el punt calent s'ubicaria entre els col·lectors d'escapament del motor i el convertidor catalític, al tram recte del tub. En aquest punt hauria de ser senzill aconseguir temperatures voltant dels 900 °C.

En canvi al punt fred la temperatura és més complicada de determinar, per la qual cosa es durà a terme un estudi de temperatures amb el qual determinar on i com és més convenient ubicar el punt fred del termogenerador. S'espera aconseguir uns 150 °C al punt fred.

D'aquesta manera quedaria un diferencial de temperatura de 750 °C.

Considerant possibles pèrdues de temperatura al vehicle i que l'entorn del vehicle influeixi sobre les temperatures presents al termogenerador (per exemple una aigua de refrigeració massa calenta o la presència de temperatures ambientals fredes) estariem tenint pèrdues de temperatura que podrien arribar a donar un diferencial de temperatura de 600 °C. Aquest fet hauria de ser corroborat amb un estudi i donar el pitjor dels casos possibles per a poder determinar els requeriments mínims del termogenerador.

6.4. Situació al vehicle

El mòdul principal del termogenerador, que conté els termopars, es situarà en un punt de la línia d'escapament del vehicle, el més recta possible per tal de poder simplificar el disseny i la construcció de l'estructura contenedora dels termopars. A ser possible s'instal·larà al punt més calent i sempre entre el convertidor catalític i el col·lector d'escapament. Es situarà a la part més propera al terra del vehicle i degudament aïllat, per tal d'interferir el mínim possible en el packaging del vehicle i en les condicions tèrmiques de l'habitacle.

El punt fred es situarà en un lloc ben refrigerat del vehicle, però tenint cura de no necessitar de la instal·lació de cables de connexió entre el punt fred i el punt calent massa llargs, per tal de poder augmentar l'eficiència en la generació d'electricitat i minimitzar les pèrdues de corrent elèctrica degut a les característiques dels conductors. Un dels llocs que millors garanties ofereixen per a una adequada refrigeració és la part davantera del vehicle, al costat dels radiadors principals del vehicle, d'aquesta manera es poden combinar la refrigeració per aire forçat afectant el mínim possible a les característiques aerodinàmiques del vehicle. A més, en cas de necessitar refrigeració extra per a poder crear un diferencial de temperatura major entre el punt calent i el punt fred es pot aprofitar per montar un petit bescanvior de calor que refrigeri el punt fred del termogenerador aprofitant el circuit de refrigeració que el vehicle incorpori de sèrie. De totes maneres no s'ampliarà en excés el circuit per tal de no haver de realitzar ampliacions en el circuit com per exemple haver d'instal·lar una bomba d'aigua nova, fet que encariria el procés d'instal·lar el termogenerador.

6.5. Estimació de generació

Actualment hi ha molts models de cotxes al mercat, i la intenció d'aquest projecte és donar una sol·lució viable per a la majoria d'ells, però no es poden desenvolupar termogeneradors específics per a les necessitats energètiques de cada vehicle present al mercat. És per això que es considerarà un cas de vehicle que representi el millor possible la mitjana de necessitats de consum elèctric d'un cotxe.

Es contabilitzen:

ELEMENT	POTÈNCIA NECESSÀRIA
Equip de so	350 W
Tauler de comandaments	25 W
Llums del vehicle	200 W
Motor d'arrencament	100 W
Aire acondicionat	100 W
Elevallunes	50 W
Renta parabrises i escombretes	50 W
Direcció assistida elèctrica	100 W
Sistemes de seguretat i centreletes de control del vehicle.	100 W
TOTAL	1075 W

Taula 1 - Estimació de necessitats de generació de potència elèctrica.

Per tant, s'utilitzarà una estimació de consum d'uns 1000 W, ja que el consum de l'equip de so pot ser molt diferent en els diferents vehicles del mercat.

6.6. Tipus i nombre de termopars necessaris

Existeixen dues opcions per tal de poder escollir els termopars amb que fabricar el termogenerador, que es diferencien per el repartiment de temperatures en les estructures de suport del termogenerador.

La primera opció es considerar que, gràcies a l'aïllament, tota l'estructura es trobi a la mateixa temperatura i, per tant, utilitzar un tipus de termopar per construir el termogenerador.

La segona opció és que, mitjançant un estudi de temperatures i de les tranfrències de calor, es reveli que hi ha diferències importants de temperatures a l'interior de les estructures de suport, cosa que faria possible la utilització de varis tipus de termopars per tal d'aprofitar millor els gradients de temperatura, ja que, per exemple, existeixen tipus de termopars, com els J, que no arriben a aguantar les temperatures del tub d'escapament però, en canvi, tenen un molt bon coeficient de generació.

Estudiant les característiques tèrmiques de cada part del termogenerador i la capacitat de generació de cada tipus de termopars es calcularàn quants termopars són necessaris per tal de poder obtenir el corrent necessari.

Potència necessària	Diferencial de temperatura	Tipus de termopar	Potència de termopar	Nombre per	Nombre necessari
1000W	750 °C	BASF PbTe	20		50

Taula basada en la utilització d'un model de termopar fabricat a partir de Tel.luri de Plom de la marca BASF citat al llibre "Termoelectrics Goes Automotive"

7. Elecció dels termopars.

7.1. Termopars elegits

Per a la creació del termogenerador s'estudiarà la viabilitat de diverses opcions de termopars per poder escollir la millor.

S'intentarà aconseguir el mínim cost possible utilitzant termopars metàl·lics, però si el rendiment es veu compromès es podrien instal·lar termopars formats per semiconductors. L'estructura del termogenerador serà metàl·lica i aïllada per l'exterior, per tant a l'interior s'intentarà mantenir una temperatura estable per tal de poder utilitzar un únic tipus de termopar, però si resulta que existeixen gradients de temperatura a l'interior del propi termogenerador es podrien utilitzar diversos tipus de termopars: a les zones més calentes termopars que aguantin majors temperatures (solen tenir pitjor coeficient de generació) i a les zones amb temperatures una mica més baixes utilitzar-ne que tinguin un coeficient de generació una mica més elevat i aprofitar així la caiguda de temperatura (sempre referits al punt calent del termogenerador).

7.2. Motius de l'elecció

Per a poder elegir els termopars que formaran el termogenerador es tendran en compte els següents aspectes:

- El coeficient de generació: els termopars que aguanten majors temperatures no son sempre els que tenen el millor coeficient de generació, per tant s'ha de valorar aquest aspecte.
- La temperatura màxima que poden suportar i el diferencial de temperatura al quan serà sotmès cada termopar: s'ha de vigilar de no col·locar els termopars en una zona on es puguin produir temperatures que afectin al seu funcionament o els puguin fer malbé. A més, s'ha de cuidar la posició dels termopars al generador per tal de poder aprofitar el màxim gradient de temperatura possible. Podria donar-se el cas de que combinant varis tipus de termopars en l'estructura del termogenerador s'aprofitin millor les temperatures a l'interior d'aquest.
- El preu unitari: existeixen termopars de diferents preus, i, per tant s'ha de vigilar de no encarir massa el preu del termogenerador, ja que no es podria aplicar a tants vehicle com és la intenció d'aquest projecte. S'ha d'intentar que sigui un termogenerador econòmic o, en tot cas, fàcilment amortitzable.

7.3. Distribució

Al punt fred del termogenerador la col·locació dels termopars no suposarà un gran problema, ja que s'espera poder aconseguir una temperatura més o menys uniforme.

Per altra banda, al punt calent del termogenerador la col·locació dels termopars sí pot ser un factor important en la capacitat generativa del termogenerador. Tot i que l'estructura del punt

calent serà aïllada per tal d'intentar mantenir una temperatura el més uniforme possible, es poden produir gradients de temperatura que facin possible la utilització, a la part més externa de l'element, de termopars que funcionen a temperatures un mica inferiors, però tenguin major capacitat generativa d'electricitat. Per exemple es podria optar per utilitzar termopars K a la zona més propera al tub i termopars tipus E o J a la part més exterior.

8. Materials

8.1. Materials elegits. Característiques

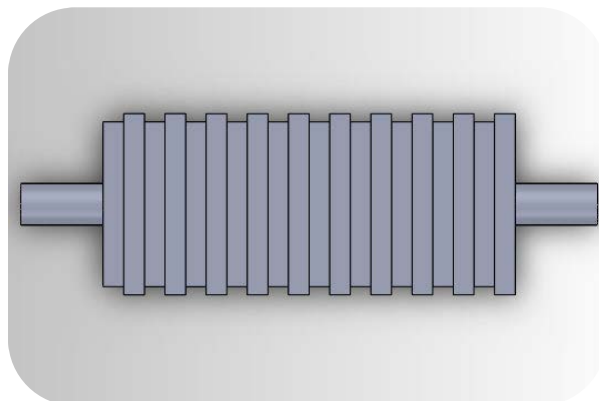
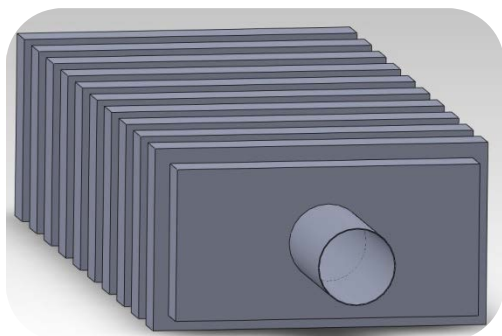
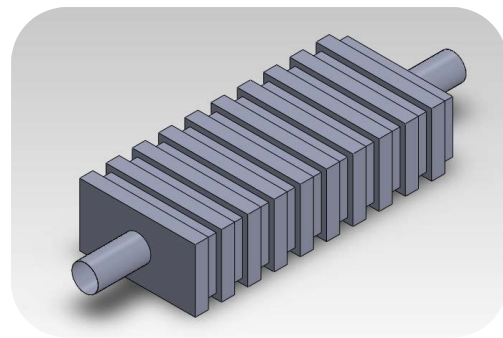
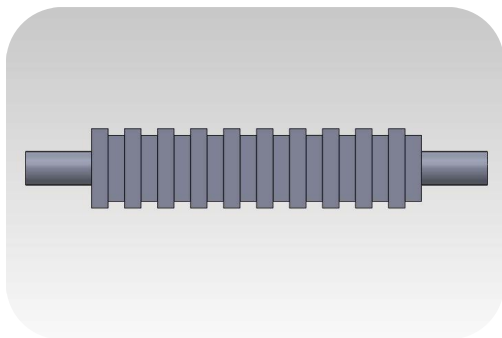
En el disseny del termogenerador s'han de tenir en compte els següents materials:

- Per a l'estructura del termogenerador (la part acoplada al tub d'escapament) s'utilitzarà un metall semblant al mateix que s'utilitza per a la fabricació dels tubs d'escapament, ja que suporta les temperatures al qual serà sotmés, el seu cost no és excessivament elevat i la seva disponibilitat al mercat és alta.
- El punt calent del termogenerador (tub d'escapament) s'aïllarà degudament per minimitzar les radicions de temperatura i poder aprofitar millor els diferencials de temperatura per tal de poder generar més quantitat de corrent.
- Per a la situació del punt fred s'utilitzarà un metall amb una bona transferència de calor per tal de poder irradiar el màxim de calor possible i poder mantenir el punt fred a una temperatura considerablement inferior al punt calent.
- El punt fred serà degudament aïllat per tal de que es mantengui a una bona temperatura d'utilització (la més baixa possible).
- Per a la transferència d'electricitat s'utilitzaran cables de coure degudament aïllats contra les altes temperatures que suportaran en moltes parts del vehicle.

9. Disseny del generador (esboç del disseny del generador).

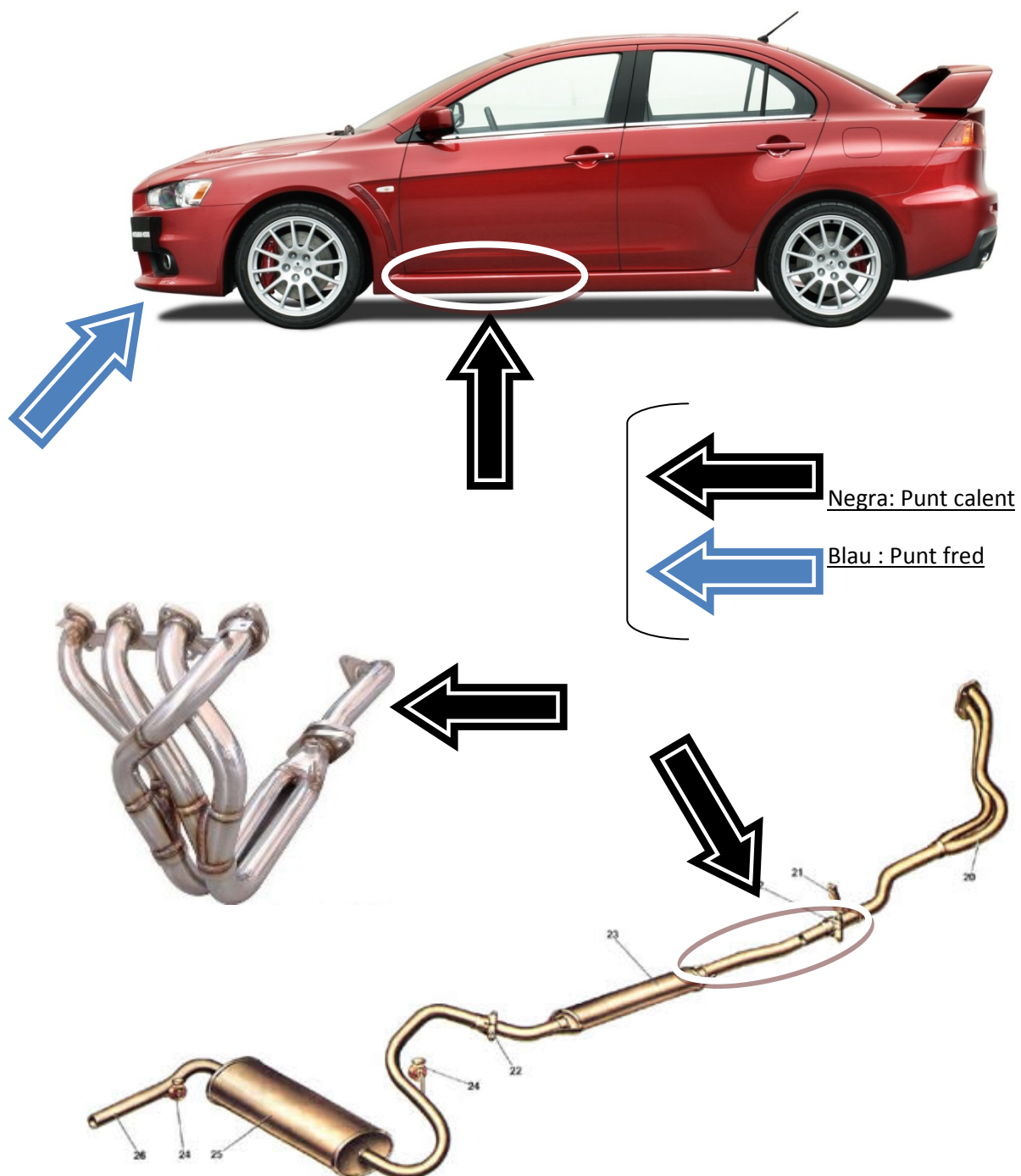
Aquí es presenta un esboç inicial de com podria ser l'estructura acoplada al tub d'escapament del vehicle per tal de poder crear el punt calent del sistema. A l'interior d'aquesta estructura es trobarien les cèl·lules de termopar en forma de panells. L'estructura del punt fred serà semblant a un bescanviador de calor, per tant no es representa, ja que dependrà molt de les investigacions que es facin en el transcurs de la realització del projecte.

Imatges:



Imatges - 15, 16, 17, 18, 19 - Vistes de l'esboç inicial de l'estructura de suport de la part calenta del termogenerador.

10. Esquema de situació al vehicle



Imatges - 20, 21 i 22 - Situació al vehicle i al sistema d'escapament de les parts del termogenerador -
Imatges de Google Images

11. Pressupost orientatiu

Es presenta un pressupost molt aproximat del que podria costar una unitat de termogenerador, juntament amb el desenvolupament per part d'un enginyer i la fabricació de 1000 unitats.

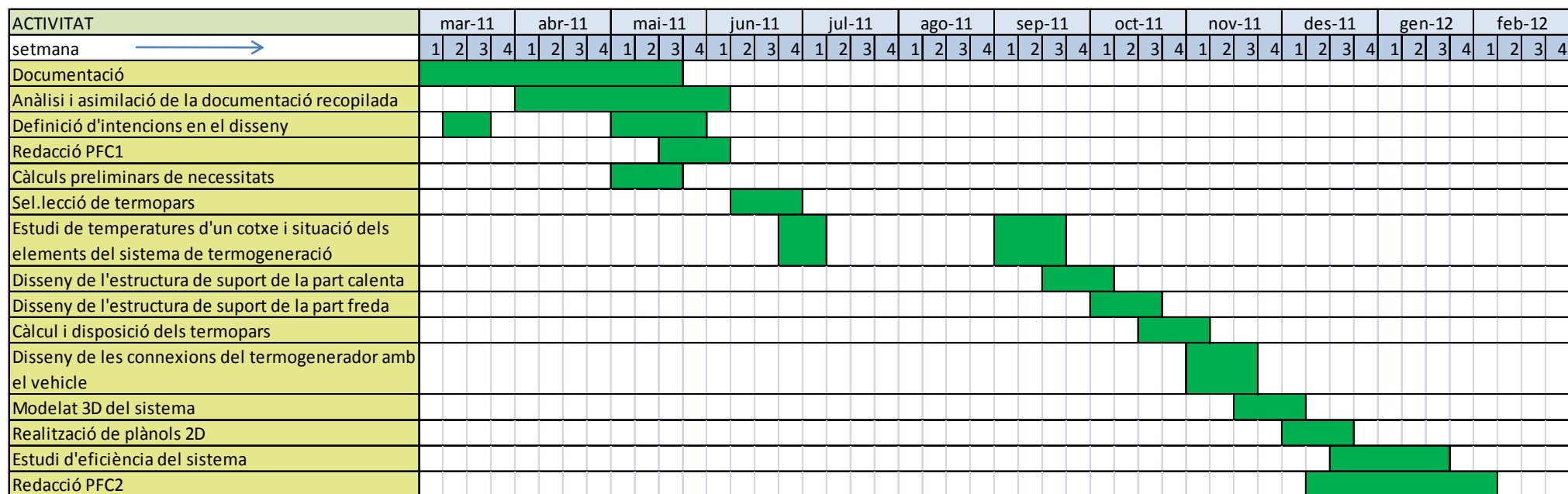
Aquest pressupost pot ser sotmès a forts canvis deguts a la tria de termopars, modificacions en instal·lació o necessitat d'utilitats de fabricació, que es concretaran al llarg del desenvolupament del projecte.

ELEMENT	DESCRIPCIÓ	PREU UNITARI	NOMBRE	PREU TOTAL
1	termopars	15 €	50	750
2	cable de coure	0,15 €/m	10 m	1,5
3	metall estructural	10 €/Kg	10 Kg	100
4	tub	10 €/m	5 m	50
5	centraleta de control	50 €	1	50
6	bescanviador de calor	25 €	1	25
7	conexions a bateria	5 €	2	10
8	aïllant	10 €/Kg	2 Kg	20
			TOTAL:	1006,5
9	despeses enginyer	40 €/h	160	6400
	FABRICACIÓ DE 1000 UDS.		1.012.900,00	€

€

€

12. Diagrama de Gantt



13. Bibliografía

- Jänsch, Daniel and 67 co-authors (2011). *Thermoelectrics Goes Automotive*. Expert Verlag - IAV. ISBN 978-3-8169-3064-8.
- Rowe, D. M. (2006). *Thermoelectrics Handbook:Macro to Nano*. Taylor & Francis. ISBN 0-8493-2264-2.
- Nolas, G. S. ; Sharp, J. ; Goldsmid, H. J. (2001). *Thermoelectrics. Basic principles and new material developments*. ISBN 3-540-41245-X.
- Zlatić, V. ; Hewson, A. C. (2006). *Properties and Applications of Thermoelectric Materials*. ISBN 978-90-481-2890-7.
- Imatges de Google Images.
- Imatges i gràfics de Wikimedia Commons o procedents d'articles.

14. Índex d'il·lustracions

Imatge - 1 - Google Images	1
Imatge - 2 - Situació del termogenerador a sota del vehicle en el projecte BMW - Google Images	3
Imatge - 3 - Projecte BMW Serie 5 amb il·lustració de posicionament del termogenerador - Google Images.....	3
Imatge - 4 - Projecte de termogenerador de VW, amb dibuix i esquema de situació al vehicle - Google Images.....	4
Imatge - 5 - Investigació de nous termopars a General Motors - Google Images	4
Imatge - 6 - Esquema de termogenerador aplicat a un SUV de General Motors - Google Images	4
Imatge - 7 - Circuit termogenerador simple - Wikimedia Commons	6
Imatge - 8 - Moviment dels electrons en un conductor metàl·lic sotmès a una diferència de temperatures - Wikimedia Commons.....	6
Imatge - 9 - Esquema de termopar utilitzat com a producteur de fred - Wikimedia Commons	7
Imatge - 10 - Esquema de termopar utilitzat com a termogenerador - Wikimedia Commons	8
Imatge - 11 - Classificació dels termopars més habituals - Wikimedia Commons.....	9
Imatge - 12 - Evolució de la generació d'electricitat per diferencial de temperatura als termopars més habituals - Wikimedia Commons.....	10
Imatge - 13 - Sonda termopar i mesurador utilitzats per a mesura de temperatures - Google Images	11
Imatge - 14 - Nevereta amb termopars utilitzats per a produir fred - Google Images	12
Taula 1 - Estimació de necessitats de generació de potència elèctrica.	15
Imatges - 15, 16, 17, 18, 19 - Vistes de l'esboç inicial de l'estructura de suport de la part calenta del termogenerador.	19
Imatges - 20, 21 i 22 - Situació al vehicle i al sistema d'escapament de les parts del termogenerador - Imatges de Google Images	20

